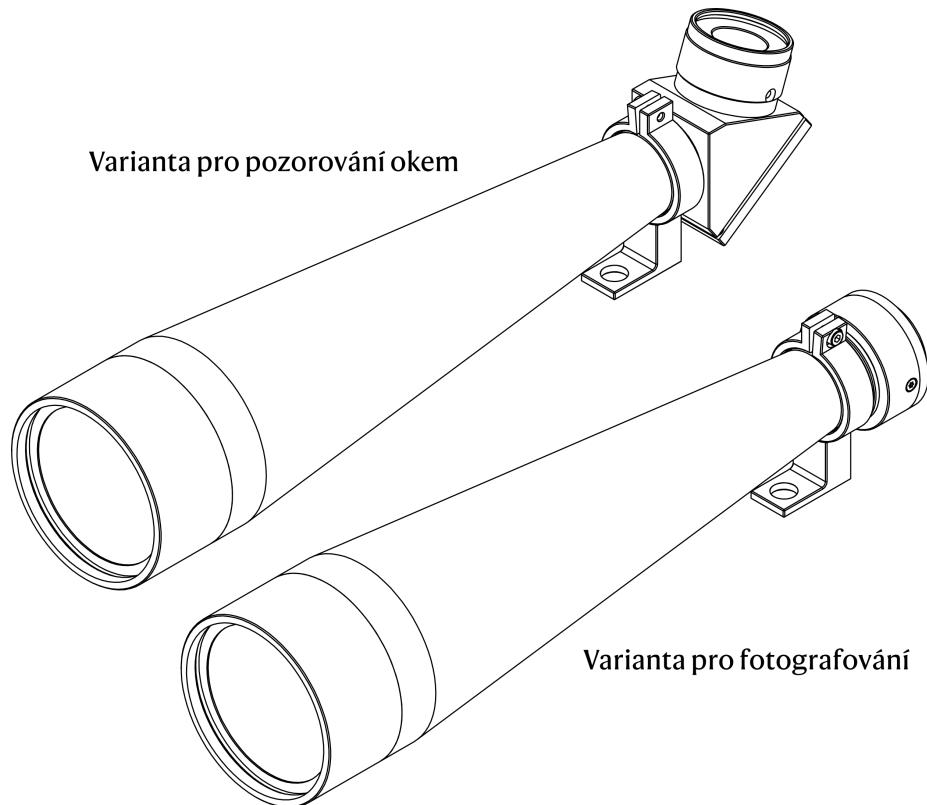


Projekt dalekohledu pro předmět TKC

Jakub Dokulil, 2021



Obrázek 1: Dalekohledy

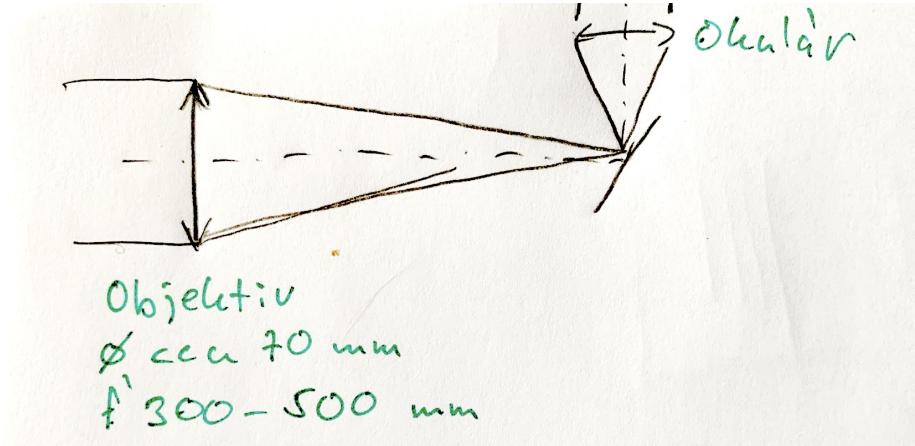
Úvod

Cílem tohoto projektu je navrhnout dalekohled keplerova uspočádání. Čili dalekohled se bude skládat z objektivu a okuláru s určením pro pozemní pozorování. Jako převracecí mechanismus bude použito zrcátko. Inspiraci jsem si vzal z dalekohledu od společnosti Meopta.

Rozvržení

Konstrukce je inspirována spektivem Meopta MeoStar S2 tento spektiv má ohniskovou vzdálenost objektivu 439 mm.

Jako objektiv bude sloužit achromatický dublet. Například firma Edmund Optics



Obrázek 2: rozvrzení dalekohledu

nabízí takové dublety, které vyhovují průměrem ohniskem. Další výhodou je knihovna dílů v programu Zemax Optics Studio.

Jako okulár se jeví vhodné použít okulár 20-60x od společnosti Meopta, navíc spektiv MeoStar S1 má ohniskovou vzdálenost objektivu podobnou námi zvlené vzdálenosti ($f' = 329 \text{ mm}$). Díky tomu, že okulár umožňuje zoomovat není zapotřebí měnit okuláry, což umožní redukovat množství prachu, které si při výměně do tubusu dostane.

Výběr komponent a simulace v programu Zemax

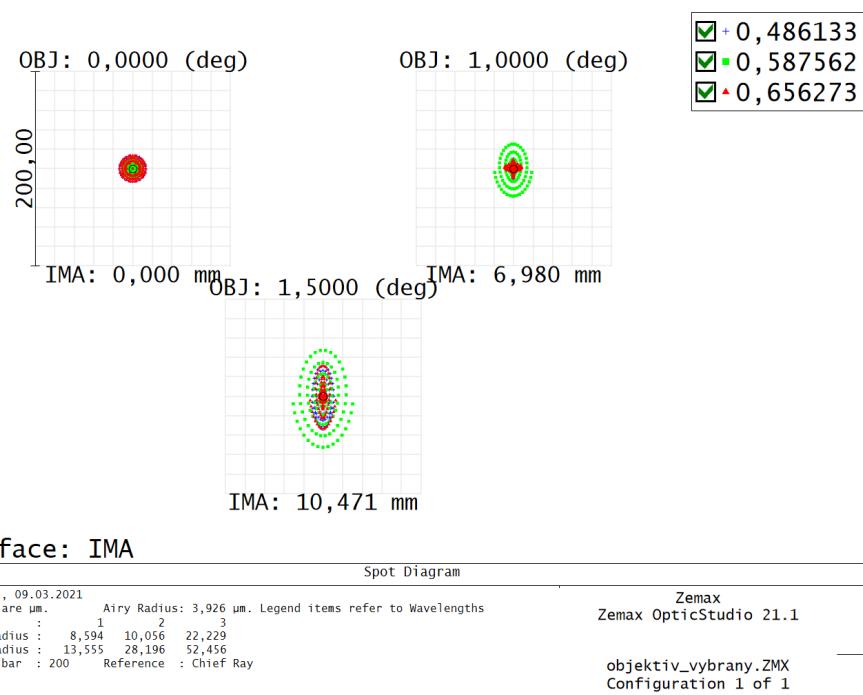
Objektiv

Z nabídky vhodných achromatických dubletů) firmy Edmund Optics byl vybrán dublet s ohniskovou vzdáleností 400 mm a průměru 75 mm s vrstvou propoušťející viditelné vlnové délky (400 - 700 nm).

Jelikož je dalekohled určen pro pozemní pozorování, tak je zapotřebí použít jako kameru vhodný fotoaparát. Samotný dublet nemusí mít velké zorné pole, proto stačí použít fotoaparát s čipem micro 4/3, například Panasonic Lumix GHS5. Rozměry čipu 17,3 na 13 mm znemenaří, že nejvzdálenější objekt od osy bude 10,8 mm.

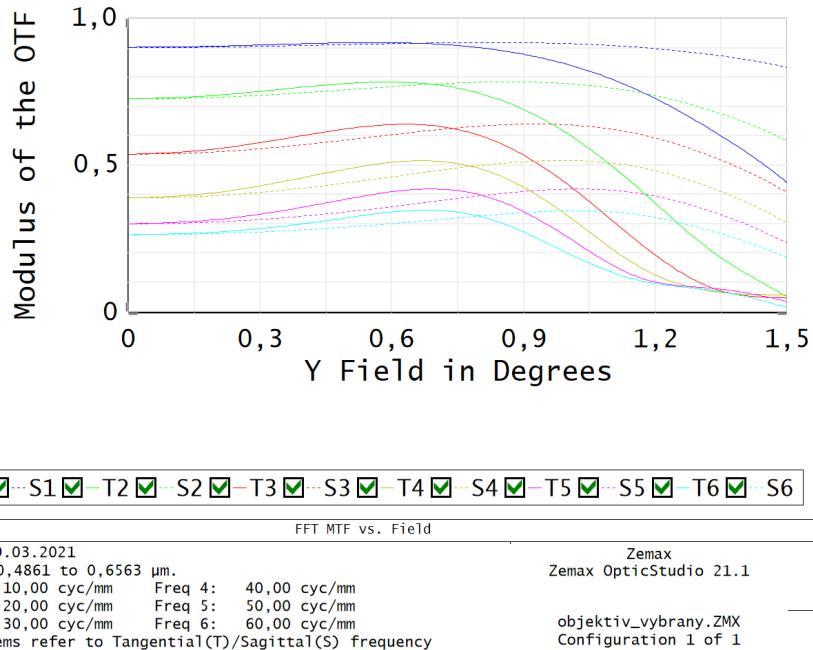
Při simulaci je zapotřebí počítat se závitovým kroužkem upínajícím objektiv do objímky, proto byla zvolena apertura o průměru 73 mm. Při simulaci bylo simulováno zobrazení osového předmětu a dále předmětů vzdálených 1° a $1,5^\circ$ od osy pro pokrytí celého čipu.

Ze spot diagramu lze vidět, že pokud chceme získat kvalitní obraz předmětu umístěného uprostřed zorného pole stačí velikost pixelu okolo 10 m. To lze ostatně taktéž vidět na závislosti funkce přenosu kontrastu (MTF - Modulated



Obrázek 3: spot dubletu

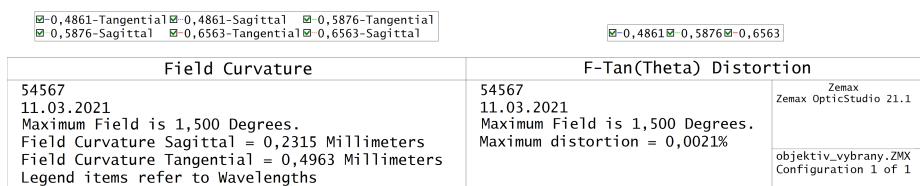
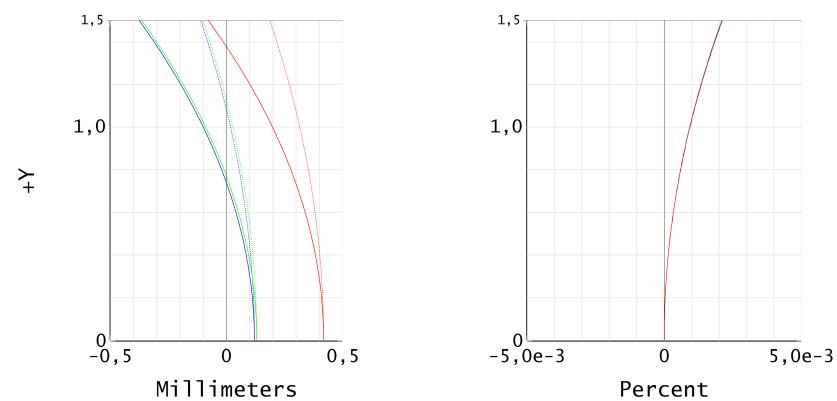
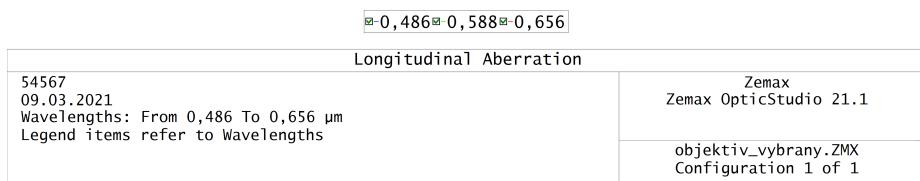
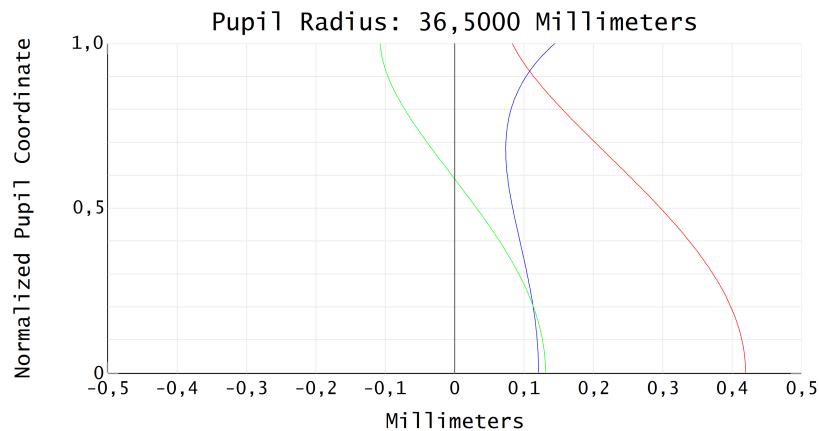
Transfer Function) na zorném poli. O clonách pro odstínění parazitních paprsků bude pojednáno později.



Obrázek 4: MTF

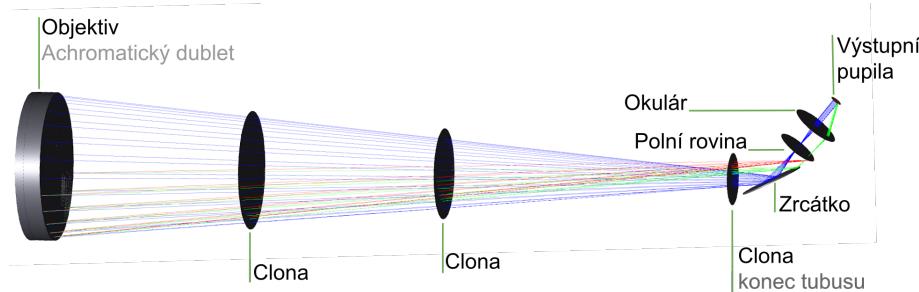
Okulár a pozorování okem.

Při pozorování okem poskytuje samotný objektiv zorné pole max $2,4^\circ$. Při použití většího zorného pole, je zklenutí pole větší jak podélná sférická vada.



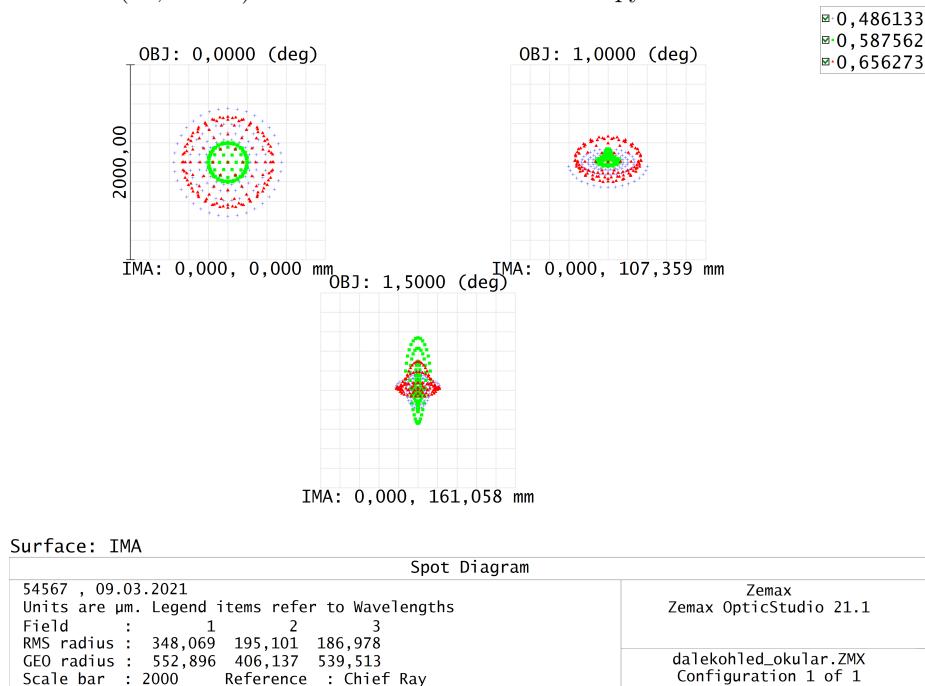
Pro převrácení obrazu bylo jako převracecí mechanizmus vybráno zenitové zrcátko. Okulár má ohniskovou vzdálenost 16,2 až 5,55 mm a pro použitý

objektiv s ohninskem 400 mm získáváme zorné pole od $1,48^\circ$ do $0,74^\circ$ (velikost předmětu v polní rovině od 5,17 mm do 2,584 mm). Při návrhu mechanické části je počítáno, že ohnisková rovina se nachází v rovině vstupní pupily. Schéma lze vidět na následujícím obrázku.



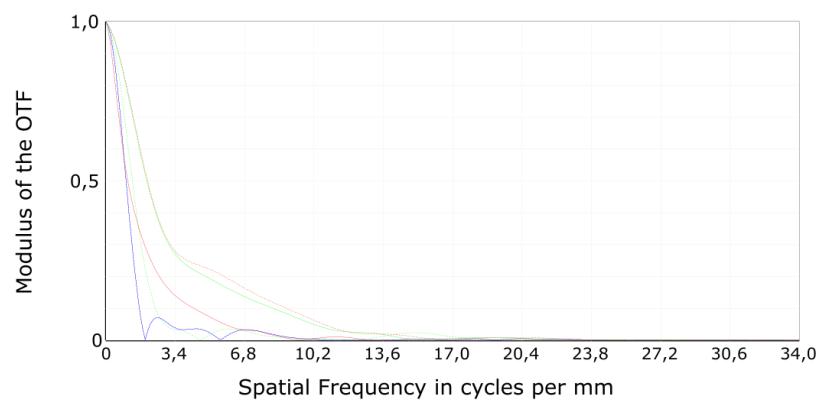
Obrázek 5: Schéma dalekohledu

Poloha okuláru je volena tak, aby okulár zobrazoval polní rovinu do konvenční zrakové vzdálenosti 250 mm. Při použití delšího ohniska okuláru (16,2 mm) vzniknou v této rovině stopy velké zhruba 300 m.



Funkce přenosu kontrastu bude vypadat následujícě.

Při použití nejkratšího ohniska okuláru 5,17 mm se vlivem vinětace omezí zorné

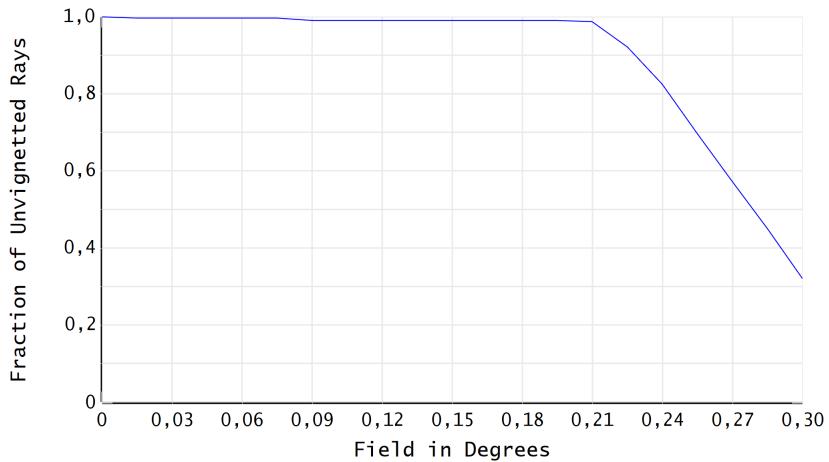


<input checked="" type="checkbox"/> -0,0000 (deg)-Tangential	<input checked="" type="checkbox"/> 0,0000 (deg)-Sagittal	<input checked="" type="checkbox"/> 1,0000 (deg)-Tangential
<input checked="" type="checkbox"/> 1,0000 (deg)-Sagittal	<input checked="" type="checkbox"/> 1,5000 (deg)-Tangential	<input checked="" type="checkbox"/> 1,5000 (deg)-Sagittal

Polychromatic Diffraction MTF		
54567 09.03.2021 Data for 0,4861 to 0,6563 µm. Surface: Image Legend items refer to Field positions		Zemax Zemax OpticStudio 21.1
		dalekohled_okular.zmx Configuration 1 of 1

Obrázek 6: MTF 16 mm

pole na zhruba $0,4^\circ$.



Vignetting Diagram	
11.03.2021	Zemax Zemax OpticStudio 21.1
	LENS.ZMX Configuration 1 of 1

Obrázek 7: Vinětace systému

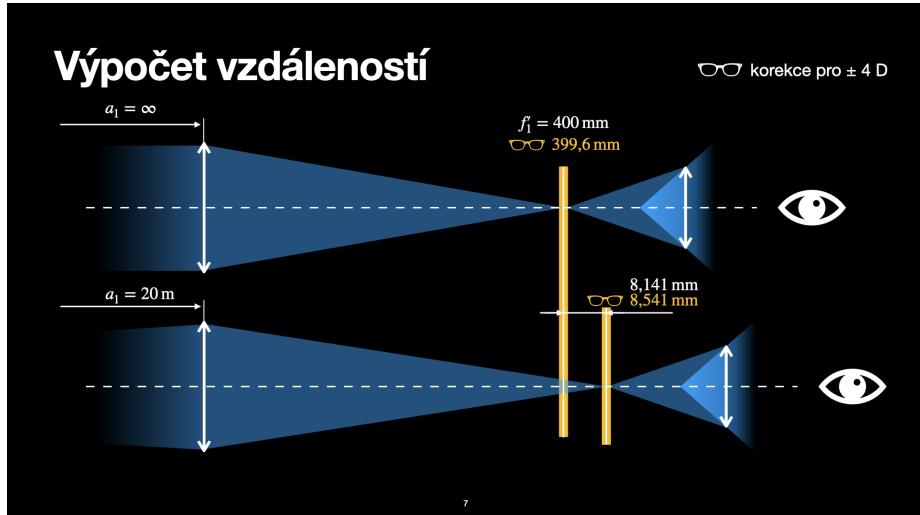
V této rovině vznikají stopy velké zhruba 300 m.

Výpočet ostříčího rozsahu

Z rovnice paraxiální čočky lze vypočítat rozsah výsuvu potřebný pro ostření mězi nekonečném a předmětem umístěným ve vzdálenosti 20 m. Pro předmět umístěný v 20 metrech vychází obrazová vzdálenost $a' = f' + 8,141$ mm. Dále je zapotřebí započítat korekci vad oka v rozsahu 4D. Užitím vztahu ze strany 19 [1] zjistíme, že při použití delšího ohniska 16,2 mm vyžaduje korekce vady přidání dalších 0,4 mm k výsuvu a to na obě strany.

předmnětová vzdálenost	vzdálenost obrazu od ohniska	vzdálenost s korekcí pro 4D
inf	0 mm	- 0,400 mm
20 m	8,141 mm	8,541 mm

Při tvorbě mechanického návrhu je dále počítáno s 0,5 mm rezervou, tak aby šlo



Obrázek 8: Ostřící rozsah

přeostřít "za nekonečno" i před 20 m.

Návrh mechanické konstrukce

Pro mechanickou konstrukci jsem volil rozvržení jak lze vidět na obrázku níže. Pro podrobnější vhled doporučuji nahlédnout do výkresu sestav.

Objektiv je uložen v objímce, která je závitem připojená k tubusu. Detail uložení lze vidět na následujícím obrázku.

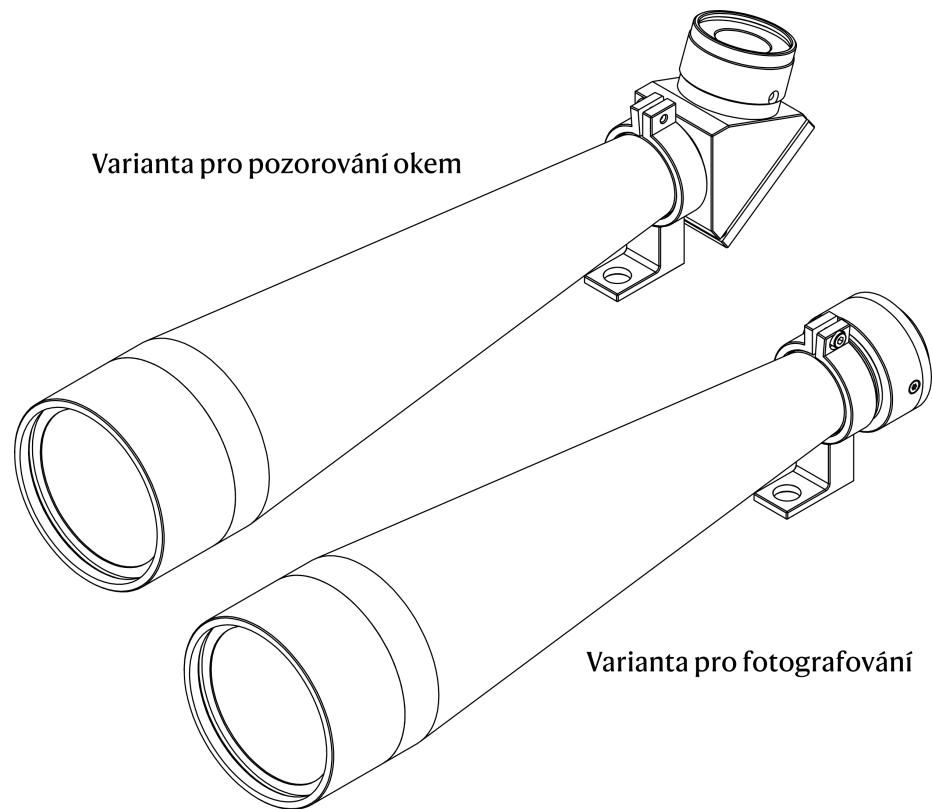
Tubus je nevržený tak, aby tvarem ušetřil materiál a byl zároveň co nejrobustnější. Bohužel však tato konstrukce je obrízně vyrobitelná. Proto pro případ výroby je vhodné vytvořit tubus podle následujícího schématu.

Každá z částí by byla zhruba 10 cm dlouhá, proto by byla snáze vyrobitelná. Jednotlivé části by byly spojeny závitem a na prostřední rovné části by byla uplá přípojka na stativ, přičmž by pro režim fotografování snadno šlo vyvažovat soustavu.

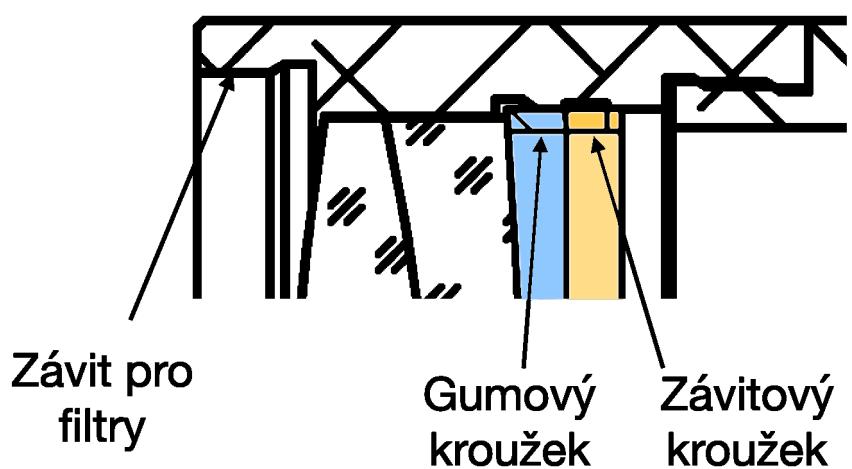
Uvnitř kostky připojené k tubusu se nachází eliptické zrcátko od firmy Edmund Optics. Pro obsažení celého pole je zapotřebí zrcátko s hlavní poloosou 14 mm a vedlejší poloosou 8 mm, což vybrané zrcátko pohodlně splňuje.

Zrcátko je upevněno na tříbodém justážním mechanizmu, kdy vašouby s jemným stoupáním tlací proti pružinkám. Pružinky jsou zajištěny kolíky a jako osa rotace slouží kalená kulička. Destička s zrcátkem je přikryta krytem, aby se dovnitř kostky nedostávaly nečistoty zároveň aby nebyly odkrety justážní šrouby.

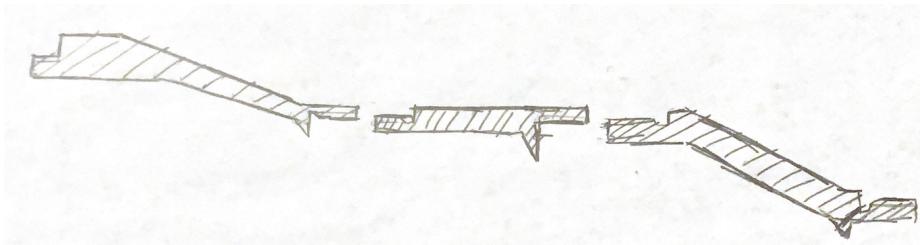
Okulárový výsuv je řešen pomocí závitu. Hmatník je pomocí dvou C-prstenců



Obrázek 9: Dalekohledy



Obrázek 10: Uložení objektivu

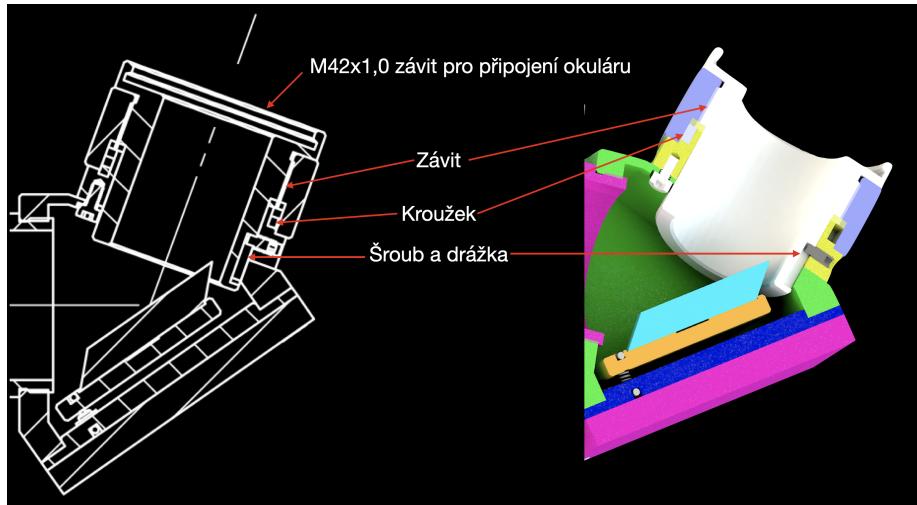


Obrázek 11: Upravený tubus



Obrázek 12: Justážní mechanizmus

připevněn k statickému dílu a pomocí závitu na vnitřní straně se posouvá vnitřní díl. Ve vnitřním dílu je drážka, která omezuje pohyb dílu.



Obrázek 13: Výsuv

Při fotografování je zapotřebí odšroubovat kostku se zenitovým zrcátkem a připojit výsuv zakončený M42 bajonetem. Výsuv je řešen obdobně jako v případě okuláru.

Materiály a další úpravy

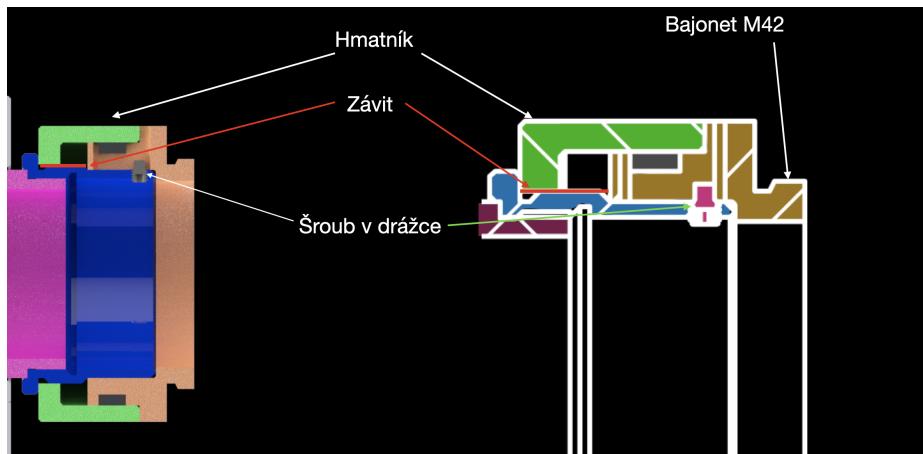
Jako materiál byla u většiny dílů volena hliníková slitina EN AW 2030 nebo 5083. Díly je zapotřebí po obrábění eloxovat. Pro případné požadavky přesné výroby vybraných ploch je vhodné nechat před eloxací drobný přídavek a požadované plochy po eloxaci doobrobit.

Závěr

Byl úspěšně navržen čočkový dalekohled keplerova typu. Pro dalekohled byl vybrán vhodný objektiv a okulár. Pomocí počítačové simulace byly zjištěny jeho optické vlastnosti. Následně bylo vypočítán rozsah výsuvu potřebný pro pozorování objektů mezi nekonečnem a 20m. Byl vypočítán rozsah potřebný pro korekci zrakových vad do 4 D. Následně byla navržena mechanická konstrukce dalekohledu. Pro potřeby výroby byly vytvořeny výrobní výkresy vybraných dílů a výkres sestavy.

Literatura

[1] Liška Miroslav: *Optické sešity* [cit. 24.5.2021] url: http://physics.fme.vutbr.cz/files/vyuka/OptPristroje/OP7_



Obrázek 14: Fotografický výsuv

[2] Fuka Josef, Havelka Bedřich: *Optika a atomová fyzika*. SPN Praha 1961.

[3] Born Max, Wolf Emil: *Principles of optics*. Seventh anniversary ed, Cambridge University Press 2019.